ESTRUCTURA PAVIMENTO CONCRETO HIDRAULICO

CALLE 111 ENTRE LA AVENIDAD MIROLINDO Y LA CARRERA 21 SUR APARCO COMUNA 9 DEL MUNICIPIO DE IBAGUE

DISEÑO
SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA MUNICIPAL DE IBAGUE

RESPONSABLE
INGENIERO CIVIL JOSE HERNAN RIOS RIAÑO
ESPECIALISTA EN DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

REVISÓ

ING CIVIL. MARCO MATHEUS SAAVEDRA
SECRETARIO INFRAESTRUCTURA

ING. CIVIL. GILBERTO LOZANO PÉREZ
DIRECCION TÉCNICO SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

ING. CIVIL. FREDY ANDRES RINCON POLANIA
DIRECCION OPERATIVA SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

AÑO 2025

CONTENIDO

ILUSTRACIONES 3
TABLAS 4
1. INTRODUCCION 5
2. ANTECEDENTES 7
3. METODOLOGIA 8
4. OBJETIVOS 10
4.1 Objetivo general 10
4.2 Objetivos específicos 10
5. GENERALIDADES 11
5.1 Localización: 11
6. VARIABLES DE DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO 15
6.1 Tránsito 15
6.2 Geología y geomorfología 17
6.3 Suelos 18
3.3.1 Subrasante 18
6.4 Características de los materiales estudio de fuentes 19
6.5 Climatología 19
7. ESTRUCTURA SUGERIDA PAVIMENTO RÍGIDO DISEÑADA POR EL MÉTODO INVIAS 20
7.1 Consideraciones básicas de diseño 20
7.1.1 Tránsito 20
7.2 Periodo de diseño 21
7.3 La subrasante 21
7.4 Material de soporte para el pavimento 22
7.5 Características del concreto para pavimento 23
7.6 Módulo de rotura 23
7.7 Módulo de elasticidad 23
7.8 Juntas 24
7.9 Transferencia de cargas entre losas y confinamiento lateral y resumen de variables consideradas en el diseño 24
7.9 Datos de entrada para el diseño 25
7.10 Esquema sugerido 26
7.10.1 Diseño estructura sugerido 26
7.11 Cortes y sellos de las juntas 27
7.12 Resumen cantidades de obra 28
CONCLUSIONES 29

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización general de la vía a intervenir en la comuna 9 11
Ilustración 2: Nomenclatura vial (plan de ordenamiento territorial) calle 111 entre la avenida Mirolindo y la carrera 21 sur aparco de la comuna 9 12
Ilustración 3: Calle 115 entre la avenida mirolindo y la carrera 21 sur aparco de la comuna 9 13
Ilustración 4: Clasificación de vehículos según el número de ejes en Colombia 16
Ilustración 7: Relación entre el CBR y el módulo de reacción de la subrasante 22
Ilustración 8: Esquema diseño sugerido 26
Ilustración 9: *Detalle juntas* 27

TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la subrasante de acuerdo a su resistencia 18
Tabla 2: Categoría de tránsito para la selección de espesores 20
Tabla 3: Clasificación de la subrasante de acuerdo a su resistencia 21
Tabla 4: Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto 23
Tabla 5: Valores de resistencia a la flexotraccion del concreto (Módulo de rotura) 23
Tabla 6: Denominación del sistema de transferencia de carga y confinamiento lateral 24
Tabla 7: Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento 25
Tabla 8: Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T_0 como factor principal 26

1. INTRODUCCION

Dentro del plan de desarrollo estructurado por la alcaldía municipal “Ibagué para todos 2024-2027” que se fundamenta en siete Acuerdos del programa de gobierno como los pilares determinantes a seguir en la hoja de ruta para el presente periodo constitucional. Buscando la construcción de una Ibagué planeada, organizada, accesible, inteligente, con servicios de calidad, respetuosa de los espacios públicos, con uso de recursos del territorio de manera consciente y ambientalmente sostenible, donde tanto el área urbana como la rural converjan de manera interrelacionada e interdependiente, en su ”, Acuerdo por una ciudad organizada y proyectada al futuro deja en el sector transporte el programa 2402 RUTA PROGRESO estrategias de estudios para la movilización y el crecimiento de todos y entre ellas la de una Ibagué pavimentada, rápida y segura manteniendo y fortaleciendo proyectos para la construcción, mejoramiento y/o rehabilitación de la malla vial de la ciudad, priorizando el mejoramiento de la malla vial de manera responsable priorizando las deficiencias y el cumplimiento de las acciones populares

Para poder proyectar una ciudad organizada y proyectada al futuro se requiere mejorar el estado de infraestructura vial del municipio de Ibagué toda vez que esta incide en gran medida en su nivel de desarrollo, puesto que al tener vías en buen estado se mejora la transitabilidad, costos de operación, la calidad de vida y las comunicaciones y transporte en general, es por ello, que en primer lugar, deben realizarse diseños de estructuras de pavimentos que cumplan con las solicitaciones requeridas para determinada vía, con un costo razonable (justificación económica que se debe realizar para poder ejecutar la oportuna intervención con una óptima inversión presupuestal), y garantizando un aceptable índice de serviciabilidad durante la vida de servicio estimada.

La entidad municipal ha a través de la secretaria de infraestructura a concentrado sus esfuerzos en construir, rehabilitar y conservar las vías de la red urbana mejorando la infraestructura del transporte que son la base de desarrollo económico de la ciudad. La conservación y mantenimiento de estas vías ha consistido en conformar unas estructuras de pavimento de primera calidad. Dando soluciones duraderas y eficaces que disminuyan los costos de operación vehicular y agilicen la comunicación entre todos los habitantes de Ibagué

Dentro de estas soluciones se pretende diseñar:

- Estructuras de pavimentos funcionales, económicas y seguras.
- Reducir y distribuir los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito, de manera que no causen daño a la subrasante.

- Proporcionar comunicación vehicular
- Proporcionar una superficie de rodamiento segura, y confortable sin excesivo desgaste.
- Mejorar la movilidad del casco urbano.
- Satisfacer los requerimientos ambientales y estéticos.
- Limitar el ruido y la polución del aire.
- Brindar una razonable economía.

2. ANTECEDENTES

Teniendo en cuenta que el estado de la malla vial urbana en Ibagué es una preocupación significativa para los residentes, respaldada por datos oficiales reveladores. Según el Inventario Vial de la Secretaría de Infraestructura del año 2020, aproximadamente el 30% de la malla vial de la ciudad se encuentra en mal estado. Este diagnóstico se refuerza con el Plan Maestro de Movilidad de la Alcaldía Municipal de Ibagué y FINDETER S.A, que indica que el 36.77% de la malla vial con pavimento flexible y el 51.71% con pavimento rígido están en condiciones regulares o malas.

Esto ha generado congestión vial, mayores tiempos de desplazamiento, altos costos en mantenimiento vehicular, dificultad para acceder oportunamente a servicios básicos, aumento de incidentes y accidentes de tránsito, problemas de orden público, y una disminución en los índices de competitividad y productividad de la ciudad, entre otros.

Dentro del plan de desarrollo estructurado por la alcaldía municipal “Ibagué para todos 2024-2027” que se fundamenta en siete Acuerdos del programa de gobierno como los pilares determinantes a seguir en la hoja de ruta para el presente periodo constitucional. Buscando la construcción de una Ibagué planeada, organizada, accesible, inteligente, con servicios de calidad, respetuosa de los espacios públicos, con uso de recursos del territorio de manera consciente y ambientalmente sostenible, donde tanto el área urbana como la rural converjan de manera interrelacionada e interdependiente, en su ”, Acuerdo por una ciudad organizada y proyectada al futuro deja en el sector transporte el programa 2402 RUTA PROGRESO estrategias de estudios para la movilización y el crecimiento de todos y entre ellas la de una Ibagué pavimentada, rápida y segura manteniendo y fortaleciendo proyectos para la construcción, mejoramiento y/o rehabilitación de la malla vial de la ciudad, priorizando el mejoramiento de la malla vial de manera responsable priorizando las deficiencias y el cumplimiento de las acciones populares

3. METODOLOGIA

El desarrollo del diseño de estructuras de pavimentos proyectados en la malla vial del casco urbano del municipio de Ibagué, parte del conocimiento actual en el cual se encuentran las superficies de rodadura, lo cual exige que su adecuación y mantenimiento presenten una secuencia de elementos o criterios de evaluación a fin de que permitan establecer soluciones acorde a las necesidades de la Ciudad y que cumplan técnicamente con los requerimientos normativos aplicables a este tipo de diseños, por cuanto para lograr este fin, se ha propuesto una serie de etapas o fases del diseño bajo las cuales se alcance el objetivo proyectado.

Fase I: Con el reconocimiento de campo de la malla vial del casco urbano del municipio de Ibagué se logró identificar mediante una inspección visual el estado actual y el trazado existente de las vías a intervenir que deben ser mejoradas y/o rehabilitadas a fin de suplir las necesidades de la Comunidad, estas visitas permiten de manera preliminar evaluar la necesidad de proyectar unas estructuras de pavimento nuevas.

El reconocimiento de campo permite evaluar y dimensionar las condiciones actuales de la vía y comparar las misma con el escenario final con proyecto, elemento que a pesar que dentro de los diseños no se ve fuertemente reflejado, aporta en la toma de decisiones a la hora de establecer un método de diseño o el requerimiento de obra nueva o de mantenimiento, así como el comportamiento que manifiestan las diferentes superficies de rodadura al verse expuestas a paso de los vehículos.

Fase II: El diseño de Pavimentos independiente del tipo de estructura a diseñar, parte de ciertas consideraciones que son propias del dinamismo de la región o área de influencia de la zona donde será implantado el proyecto, estos criterios de diseño corresponden a:

- Drenaje
- Materiales
- Comportamiento de la Subrasante
- Tránsito.

La evaluación del drenaje se identifica a partir de los análisis hidráulicos e hidrológicos de la región, los cuales se han tomado con base en el Volumen respectivo del área, esto permite definir la influencia del agua en la estructura de los pavimentos y por ende en el comportamiento esperado una vez este se encuentra en servicio.

La calidad de los materiales: las diferentes capas que conforman los pavimentos, se evaluarán en función de las especificaciones técnicas para materiales de carreteras, que ha definido el Invias, a partir de las cuales se garantice que los materiales que hacen parte del pavimento cumplan con ciertas características de resistencia que permitan alcanzar la estabilidad de la estructura prevista para el corredor vial.

El comportamiento de la subrasante en esta fase se estudia a través de los resultados obtenidos de la exploración e investigación de los suelos la cual se ha proyectado mediante ejecución de exploración directa (apiques) con una profundidad máxima de estudio de 1.50 m, durante esta etapa se realizará una extracción de muestras alteradas e inalteradas para ser evaluadas en laboratorio, de los resultados obtenidos se determinará el comportamiento esperado de los suelos a lo largo de la malla vial, de donde se podrá evaluar la respuesta de la subrasante en cuanto a resistencia requerida para el soporte de las cargas a las que se verá sometida.

Finalmente, la Fase 2 contempla el conocimiento del tránsito, variable que se propone estudiar en función de la alternativa de pavimento a diseñar y de los análisis y resultados obtenidos de los estudios de tránsito realizados al corredor vial.

Fase III: Análisis y evaluación de las condiciones predominantes y las requeridas, de acuerdo con los resultados del alineamiento proyectado para el corredor, tanto horizontal (entre otros: dimensión de las sección proyectada Vs la sección actual, cuando exista) como vertical (cotas rasante Vs cota terreno), contemplando su incidencia en las actividades destinadas a los trabajos de campo a efectuar en los corredores viales en estudio.

Definición de sectores homogéneos a partir de las características geométricas de la malla vial, evaluación geológica y comportamiento geomecánico del material de subrasante, elementos que representan las variables de diseño analizadas con anterioridad.

Fase IV: Dimensionamiento de las estructuras de pavimento y evaluación por métodos mecanicistas, determinando la influencia de los esfuerzos y deformaciones que afectan a la estructura del pavimento y a la subrasante.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Diseñar un pavimento en concreto rígido para la construcción de un tramo de la vía de la calle 111 entre la avenida Mirolindo y la carrera 21 sur aparco comuna 9 mediante el método INVIAS.

4.2 Objetivos específicos

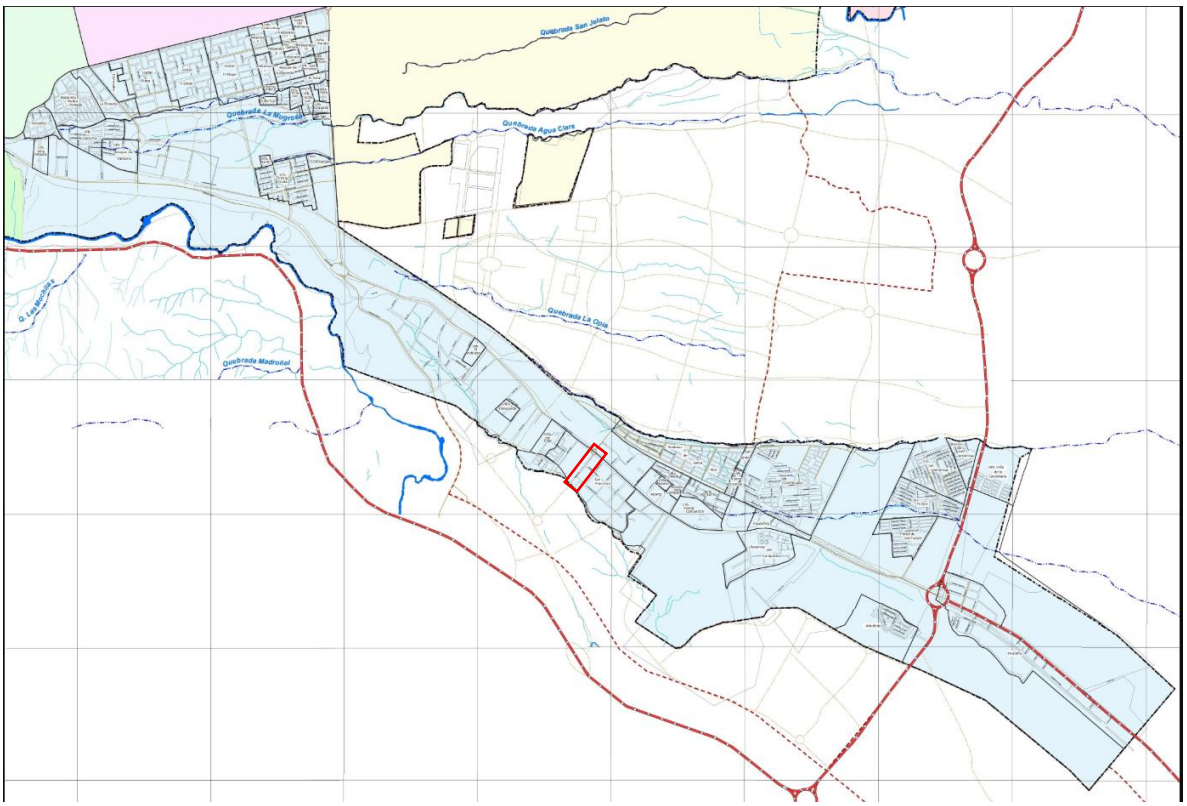
- Diseñar el pavimento en concreto hidráulico en base a los requerimientos que requiere la metodología invias
- Determinar los espesores de cada una de las capas de la estructura del pavimento requeridas para soportar el tránsito de la vía, con base a la información suministrada del tramo de estudio.
- Calcular el presupuesto requerido para llevar a cabo la construcción del proyecto.

5. GENERALIDADES

5.1 Localización:

El proyecto se desarrolla en la calle 111 entre la avenida Mirolindo y la carrera 21 sur aparco comuna 9 de la ciudad de Ibagué (calle de primer orden) ver Ilustración 1

Ilustración 1 Localización general de la vía a intervenir en la comuna 9

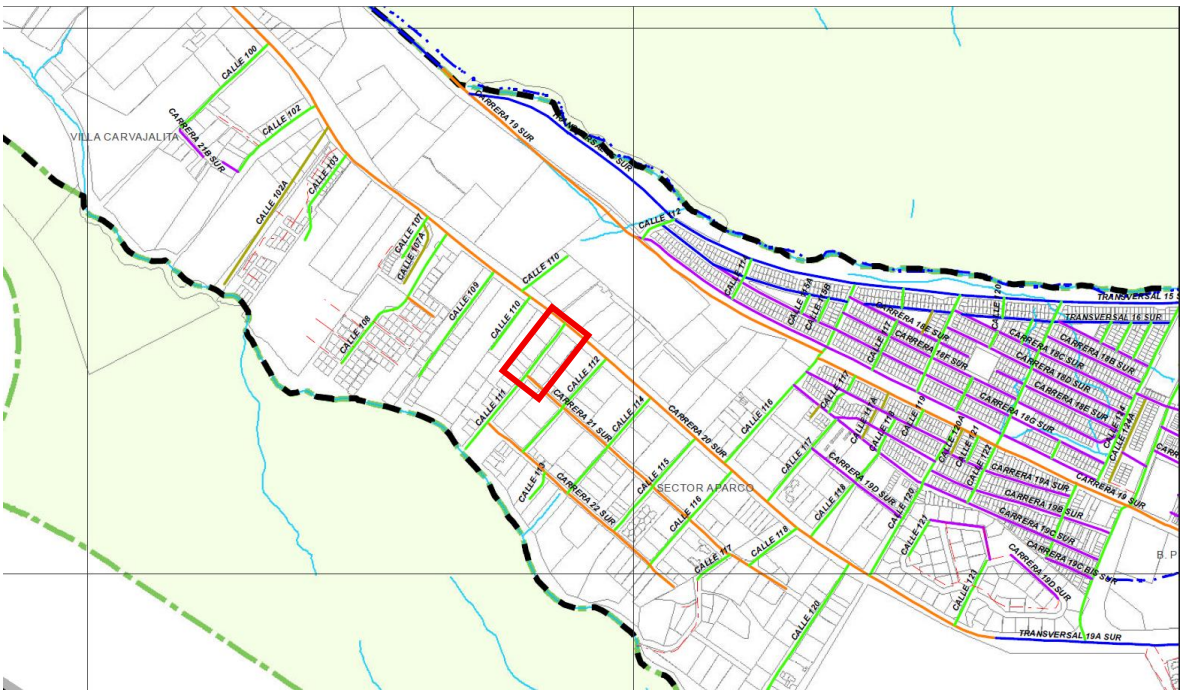


Fuente: Monumentos de Ibagué (mapa de comunas)

Esta vía se localiza en las coordenadas geográficas WGS 84 (4.408897 Norte y -75.169336 Este).

La alcaldía municipal de Ibagué en su plan de desarrollo propone como una de sus metas construir, mejorar y rehabilitar la infraestructura vial de acuerdo con los nuevos sistemas de movilidad

Ilustración 2: Nomenclatura vial (plan de ordenamiento territorial) calle 111 entre la avenida Mirolindo y la carrera 21 sur aparco de la comuna 9

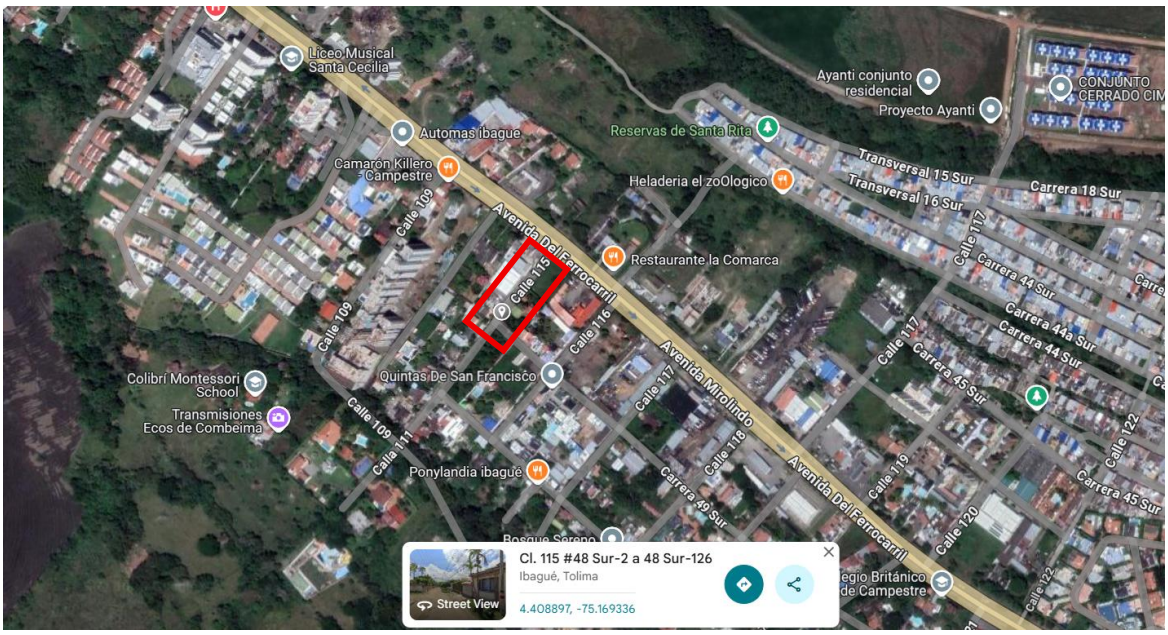


Fuente: secretaria de planeación municipal

Para poder proyectar una ciudad organizada y proyectada al futuro se requiere mejorar el estado de infraestructura vial del municipio de Ibagué toda vez que esta incide en gran medida en su nivel de desarrollo, puesto que al tener vías en buen estado se mejora la transitabilidad, costos de operación, la calidad de vida y las comunicaciones y transporte en general, es por ello, que en primer lugar, deben realizarse diseños de estructuras de pavimentos que cumplan con las solicitaciones requeridas para determinada vía, con un costo razonable (justificación económica que se debe realizar para poder ejecutar la oportuna intervención con una óptima inversión presupuestal), y garantizando un aceptable índice de serviciabilidad durante la vida de servicio estimada.

La secretaria de infraestructura por intermedio de su división operativa viene realizando un trabajo de auscultación de la malla vial del municipio por todas las comunas de Ibagué y ha concentrado sus esfuerzos en construir, rehabilitar y conservar las vías de la red urbana mejorando la infraestructura del transporte que son la base de desarrollo económico de la ciudad. La conservación y mantenimiento de estas vías ha consistido en conformar unas estructuras de pavimento de primera calidad. Dando soluciones duraderas y eficaces que disminuyan los costos de operación vehicular y agilicen la comunicación entre todos los habitantes de Ibagué en especial para el presente caso la comunas 9

Ilustración 3: Calle 115 entre la avenida Mirolindo y la carrera 21 sur aparco de la comuna 9



Fuente: Mapa Google

Dentro de estas soluciones se pretende diseñar:

- Una estructuras de pavimentos funcional, económica y segura.
- Reducir y distribuir los esfuerzos producidos por las cargas del tránsito, de manera que no causen daño a la subrasante.
- Proporcionar comunicación vehicular por la calle 111 entre la avenida Mirolindo y la carrera 21 sur aparco de la comuna 9, calle de primer orden
- Proporcionar una superficie de rodamiento segura, y confortable sin excesivo desgaste.
- Mejorar la movilidad del sector.
- Satisfacer los requerimientos ambientales y estéticos.
- Limitar el ruido y la polución del aire.

El proyecto se desarrolla en la calle 111 entre la avenida Mirolindo y la carrera 21 sur aparco de la comuna 9 del municipio de Ibagué

Por lo tanto, se determinó rehabilitarla nuevamente la vía donde están involucradas las siguientes capas.

Concreto hidráulico (artículo 500)
BG: Base granular (artículo 330)

SBG: Base granular (artículo 320)
CSR: Capa subrasante (artículo 220)

Para la ejecución del mejoramiento y rehabilitación se recomendó

- Un diseño de estructura de pavimento rígido en concreto se puede presentar el dimensionamiento de la estructura utilizando el método Aastho 93, PCA, o el de Invias
- Las vía a intervenir debe contar con la certificación del ibal del buen estado de las redes hidráulicas y sanitarias
- Las capas que conforman la estructura deben cumplir con las

6. VARIABLES DE DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

Para la ejecución del mejoramiento y rehabilitación de la malla vial del casco urbano del municipio de Ibagué se contempló una serie de variables (tránsito, geología, geotecnia y climatología), se contempló una variabilidad de volúmenes de tránsito realizado por la universidad de Ibagué ampliada por los profesionales de la secretaria de infraestructura y resumida en una tabla dinámica por direcciones de calles y carreras determinando la frecuencia de vehículos diarios. Para su proyección se tomó el resultado propuesto por el contrato N° 005 del 2017 donde el objeto era "elaborar el plan maestro de movilidad y espacio público del municipio de Ibagué y desarrollar el diseño a detalle de las vías calle 103 y carrera 13" ejecutado por el consorcio C&T (Cal y Mayor soluciones con calidad y valor) y (tecnoconsulta ingenieros consultores) y contratado por FINDETER.

6.1 Tránsito

La proyección del tránsito, se basó en los resultados del estudio y pronóstico de tránsito efectuado a través del análisis de la situación actual de la Ciudad de Ibagué basándose en la cuantificación del crecimiento normal del tránsito (CNT) sumado con el tránsito atraído (TAt) desde otras intersecciones aledañas.

Para la proyección del tránsito se tuvieron en cuenta los volúmenes históricos de tráfico del INVIAS del año 2015, utilizando únicamente los conteos para la tipología de automóviles de la estación Mirolindo - Picaleña código 1178 (debido a que está en un entorno urbano) y la correlacionaron con variables socioeconómicas de la zona de influencia, como:

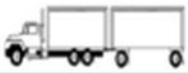
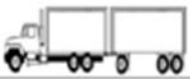
- Crecimiento de la población de Ibagué
- Evolución de la tasa de motorización de autos de Ibagué
- Evolución de la tasa de motorización de motocicletas de Ibagué

El proceso de pronóstico consistió en un método iterativo de calibración, probando en todos los casos modelos econométricos no lineales de la forma: y= $\alpha \cdot X\beta$, en los cuales se alternaban diferentes variables socioeconómicas y se correlacionaron con el comportamiento histórico del tránsito. El mejor modelo que presentó mejor ajuste a los datos fue elegido en función de los siguientes criterios:

- Más alto nivel de correlación (R).
- Más alto coeficiente de determinación (R2) y de determinación ajustado.
- Nivel de significancia estadística igual o mayor al 95% para el análisis de varianza.

Ilustración 4: Clasificación de vehículos según el número de ejes en Colombia

Designación	Configuración	Descripción
C2		Camión de dos ejes (Camión sencillo)
C3		Camión de tres ejes (Doble troque)
C4		Camión de cuatro ejes
C2S1		Camión de dos ejes con semirremolque de un eje
C2S3		Tractocamión de dos ejes con semirremolque de tres ejes

Designación	Configuración	Descripción
C3S1		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de un eje
C3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
C3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes
R2		Remolque de dos ejes
C2R2		Camión de dos ejes con remolque de dos ejes
C2R3		Camión de dos ejes con remolque de tres ejes
C3R2		Camión de tres ejes Doble troque con remolque de dos ejes
C3R3		Camión de tres ejes Doble troque con remolque de tres ejes
C4R2		Camión de cuatro ejes con remolque de dos ejes
C4R4		Camión de cuatro ejes con remolque de cuatro ejes

Designación	Configuración	Descripción
C2R1		Camión de dos ejes con remolque balancín de un eje
C2R2		Camión de dos ejes con remolque balancín de dos eje
C2R3		Camión de dos ejes con remolque balancín de tres ejes
C3R1		Camión de tres ejes Doble troque con remolque balancín de un eje
C3R2		Camión de tres ejes Doble troque con remolque balancín de dos ejes
C3R3		Camión de tres ejes Doble troque con remolque balancín de tres ejes
C4R1		Camión de cuatro ejes con remolque balancín de un eje
C4R2		Camión de cuatro ejes con remolque balancín de dos ejes
C4R3		Camión de cuatro ejes con remolque balancín de tres ejes

Fuente: Información tomada de la resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004 y No 1787 del 8 de mayo de 2009

- Nivel de significancia estadística igual o mayor al 95% para la selección de los coeficientes de regresión.
- Congruencia entre el signo de cada coeficiente de regresión y la variable dependiente.

El modelo elegido presento el mejor ajuste y el mejor comportamiento descriptivo del tránsito y relaciono la tasa de motorización de autos y motocicletas para la ciudad de Ibagué donde establecieron tasas de crecimiento normal del tránsito esperados, para la presente guía tomaremos desde el año 2025 hasta el año 2044

Para la determinar los pesos de los vehículos se realizó un trabajo de campo con cooperación de la concesionaria San Rafael S.A. quienes facilitaron su báscula la cual está totalmente certificada para determinar el pesaje de una buseta tipo de uso en el servicio público del casco urbano de Ibagué.

La concesionaria también nos compartió información de pesajes de vehículos que entran y salen por el peaje Gualanday. Y se amplió con la configuración de los vehículos pesados la que está enmarcada en la Resolución 4100 de 2004 modificada – Resolución 1782 de 2009, ver ilustración 4

6.2 Geología y geomorfología

El estudio geológico y geotécnico es un aspecto importante en el diseño y construcción de un pavimentos.

El proyecto se desarrolla en la meseta de Ibagué columna estratigráfica abanico de Ibagué se considera un depósito fluvio-volcánico, principalmente lahares (flujos de tierra de origen volcánico), con aporte aluvial intercalado, asociados a la actividad lávica y piroclástica Cuaternaria del volcán nevado del Tolima, productos secundarios que descendieron por el río Combeima hasta el sitio actual, en donde se depositaron sobre el batolito de Ibagué.

En cada tramo a intervenir, se contempló un solo sector homogéneo según análisis de la composición geológica (formaciones rocosas y superficiales), y respuesta geotécnica de la subrasante medida a partir del CBR

El área donde se va a desarrollar la rehabilitación se caracteriza por estar conformada por un depósito del Abanico de Ibagué (Qfv) y afectada por la falla de Ibagué.

6.3 Suelos

3.3.1 Subrasante

El área donde se van a desarrollar las rehabilitación se caracterizan por ser de topografía plana con algunas ondulaciones conformada por un depósito del Abanico de Ibagué (Qfv) y está afectada por la falla de Ibagué

Por indicaciones del director operativo de la secretaria de infraestructura ing Fredy Andrés Rincón Polania, se determinó que en este tramo de vía se tomará un CBR para diseño muy similar al de las vías cercanas del sector donde se han realizado estudio de suelos, por tal motivo se tomó un valor inferior al promedio del sector CBR de 4.85 %.

Los ensayos desarrollados:

- Análisis granulométrico
- Limite líquido y plástico de los suelos
- Relación de humedad- masa unitaria seca en los suelos
- Relación de soporte del suelo en el laboratorio CBR inalterado

Los apiques se proyectaron con profundidades de exploración máxima de 1.50 m con extracción de muestras alteradas que se sometieron a pruebas de laboratorio bajo las cuales se obtienen los parámetros de caracterización de la subrasante

Se clasificará la subrasante (fundación) en función de la capacidad de soporte, evaluada mediante la relación de soporte de california CBR (norma INV E148-22) ver tabla 1

Tabla 1: Clasificación de la subrasante de acuerdo a su resistencia

CLASE O TIPO	CBR %
S1	< 2
S2	2 a 5
S3	5 a 10
S4	10 a 20
S5	> 20

Fuente: Manuel de diseño de pavimentos de concreto

6.4 Características de los materiales estudio de fuentes

Para la construcción de la estructura se necesita que cada capa cumpla con las especificaciones técnicas elaborado por el Instituto Nacional de Vías INVIAS, siendo necesario durante la ejecución de las obras estar realizando controles periódicos al mismo, garantizando la calidad y estabilidad de las obras construidas, para lograr ello, se presenta la caracterización de cada elemento que compone la estructura diseñada.

Para que la estructura tenga un buen comportamiento se requiere que los materiales que conforman las diferentes capas tengan características que respondan a unas especificaciones de calidad y ante su ejecución se tenga un buen procedimiento constructivo.

6.5 Climatología

Las características hidrológicas y climáticas se recopilan de una serie de trabajos que adelanta la secretaria de infraestructura en el casco urbano donde se toman datos suministrados por el IDEAM de las estaciones Pm cruz roja, Pm Interlaken, Pm perales, y apto perales, determinar todo lo relacionado a temperatura, precipitación, y climatología de la ciudad.

7. ESTRUCTURA SUGERIDA PAVIMENTO RÍGIDO DISEÑADA POR EL MÉTODO INVIAS

Para el presente diseño se utilizó la metodología del manual de invias (manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito), que nace según resolución 000803 del 6 de marzo de 2009, del ministerio de transporte de Colombia.

El diseño del espesor del pavimento de concreto es aplicable para los siguientes tipos de pavimentos:

- Concreto simple
- Concreto simple con barras o pasadores de transferencia
- Concreto reforzado y con refuerzo continuo

7.1 Consideraciones básicas de diseño

7.1.1 Tránsito

Se determina el nivel de tránsito según la tabla 2 con datos de aforo suministrados por la secretaria de infraestructura para un tránsito promedio diario de TPD = 133

Tabla 2: Categoría de tránsito para la selección de espesores

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T_o	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1´000.000
T1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1´000.000 a 1´500.000
T2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1´500.000 a 5´000.000
T3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5´000.000 a 9´000.000
T4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9´000.000 a 17´000.000
T5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17´000.000 a 25´000.000
T6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25´000.000 a 100´000.000

Tabla 3-1. Categorías de tránsito para la selección de espesores

En la Tabla 3-1 las siglas tienen el siguiente significado:	
Vt: Vía terciaria	**M:** Medias
Vs: Vía secundaria	**A:** Anchas
Vp: Vía principal	**CC:** Carreteras de 2 direcciones
E: Estrechas	**MC:** Carreteras multicarriles
	AP: Autopistas

Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto invias

Según datos de campo se toma para el diseño la categoría T_0, vía de segundo orden con una sola dirección y dos carriles, con un tránsito promedio diario semanal

calculado entre (0 a 200 vehículos comerciales) y un rango de ejes acumulados de 8.2 t < 1.000.000 en el periodo de diseño de 20 años.

7.2 Periodo de diseño

El manual de diseño de invias recomienda un periodo de diseño de 20 años

7.3 La subrasante

La resistencia de la subrasante se mide en términos del módulo de reacción (K), determinado por pruebas de placa directa. Teniendo en cuenta que estas pruebas son complejas y costosas, el valor de K se estima generalmente por correlación con pruebas más sencillas como el CBR. Este procedimiento es válido puesto que no es necesario el conocimiento del valor exacto del módulo K, ya que variaciones no muy grandes de él, prácticamente no afectan los espesores necesarios de pavimento.

El suelo de este sector se clasifica como “CH” y se caracteriza por su alta compresibilidad (tiende a comprimirse bajo carga), alta plasticidad (puede deformarse considerablemente antes de romperse), baja permeabilidad (no permiten que el agua pase fácilmente a través de ellos), y pueden retener grandes cantidades de agua.

El manual tiene cinco clases de suelo como se observa en la tabla 3, la clasificación se realiza con base en el CBR del suelo, según norma INVE-148-22 estos valores se correlacionaron con el módulo de reacción de la subrasante k que es el parámetro usado en las ecuaciones de diseño

Tabla 3: Clasificación de la subrasante de acuerdo a su resistencia

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm^2)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 - 10	500 – 1.000
S4	20 - 10	1.000 – 2.000
S5	> 20	> 2.000

Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto invias

Según datos de campo y estudio de suelos de la secretaria de infraestructura se toma para el diseño un CBR 4.85 %, nos clasifica con una subrasante tipo S2 según tabla 3

La capacidad de soporte de la subrasante se cuantifica por medio de un parámetro llamado “módulo de reacción”, conocido también como” coeficiente de balasto” o “módulo de Westergaard” y se representa convencionalmente con la letra K, (se determina con el ensayo de prueba de placa) este ensayo se utiliza para obtener el valor del módulo de reacción K de la capa de apoyo (subrasante), como este ensayo es muy costoso se utiliza correlaciones con pruebas de resistencia ejemplo el CBR Para determinar el valor de K se puede realizar mediante el Abaco de la ilustración 10 o mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones

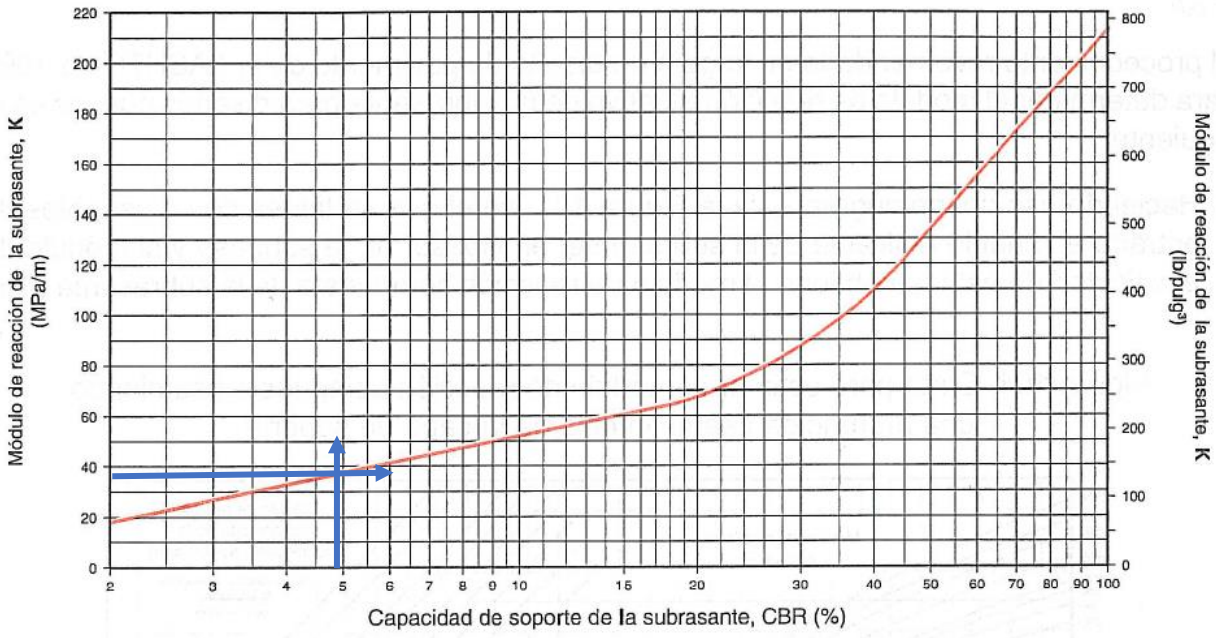
$$K = 22.168 * \ln(CBR) + 3.5018$$
$$K = 2.55 + 52.5 * \log(CBR)$$

Donde

K = Resistencia de la subrasante en Mpa/m

$K = 22.168 * \ln(4.85) + 3.5018$ = 38.50 Mpa/m resistencia

Ilustración 5: Relación entre el CBR y el módulo de reacción de la subrasante



7.4 Material de soporte para el pavimento

El manual cuenta con tres tipos de soporte como se observa en la tabla 4, suelo natural, base granular (Artículo INV 330-22) y base estabilizada con concreto (Articulo INV 341-22) el efecto en el espesor de la estructura se tiene en cuenta elevando el valor de la capacidad de soporte del terreno natural o suelo de subrasante

Tabla 4: Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto invias

Según datos de campo se toma como material de soporte el mejoramiento de la subrasante con una capa de base granular de 15 cms

7.5 Características del concreto para pavimento

En los métodos de diseño de pavimentos de concreto, se considera la resistencia a la flexión, medida a 28 días, evaluada mediante su módulo de rotura, siguiendo el método de ensayo de la Norma INV E - 414-22, como uno de los parámetros que determinan el espesor.

7.6 Módulo de rotura

Para el presente diseño se tomará el nivel de resistencia a la flexión de la calidad del concreto de acuerdo al nivel de tránsito (número de camiones por día entre 0-200) la norma invias recomienda un valor de MR2 = 40 kg/cm² = 4.0 Mpa, la secretaria de infraestructura sugiere una resistencia de 42 kg/cm² = 4.2 Mpa cómo se observa en la tabla 5 (define la deformación rigidez del concreto bajo cargas cíclicas)

Tabla 5: Valores de resistencia a la flexotraccion del concreto (Módulo de rotura)

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm^2)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto invias

7.7 Módulo de elasticidad

Es un parámetro que está involucrado en el comportamiento de los pavimentos de concreto, y por ende en el diseño mismo. Su determinación se hace a partir de ensayos de laboratorio, método de ensayo en la Norma INV E - 416-22, también se pueden utilizar correlaciones. Se considera que la incidencia de esta variable en el resultado final del diseño de espesores, tiene poca influencia

El módulo de elasticidad del concreto es una propiedad mecánica que refleja la habilidad que tiene el concreto para deformarse elásticamente, el cual puede ser obtenido aplicando cargas conocidas sobre un espécimen para evaluar la deformación del material (Pauw, 1960). En el presente diseño se tomará el módulo de elasticidad del concreto 280 kg/cm² o 4000 psi este valor describe la deformación rigidez del concreto bajo cargas estáticas

7.8 Juntas

Las juntas son parte importante de los pavimentos de concreto y se hacen con el fin de controlar los esfuerzos que se presentan en el concreto como consecuencia de los movimientos de contracción y de dilatación del material y a los cambios de temperatura y humedad, entre la cara superficial y la de soporte de las losas de concreto

Las losas de concreto tendrán el ancho de un carril variable y su longitud será igual al ancho del carril o. para que conserven un buen comportamiento estructural

7.9 Transferencia de cargas entre losas y confinamiento lateral y resumen de variables consideradas en el diseño

Hay dos factores que influyen en la determinación del espesor de las losas de concreto y son la presencia de pasadores de carga (dovelas) en las juntas transversales y los confinamientos laterales del pavimento, como son las bermas, los bordillos o los andenes, en el manual se identificaran con las siglas indicadas en la tabla 6. Y en la tabla 7 se observa el resumen de las variables para los diseños

El diseño de la estructura propuesto no tendrá pasadores de carga (dovelas), pero sí tendrá confinamiento como bordillos y andenes

Tabla 6: Denominación del sistema de transferencia de carga y confinamiento lateral

Denominación	Descripción
D	Dovelas
B	Bermas
No D	No Dovelas
No B	No Bermas

Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto invias

Tabla 7: Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento

Variables y su representación				
Suelos	Tránsito	Transferencia y confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	**T0** (EALS <1x10^6)	**D y B** (Dovelas y Bermas)	**SN** (Subrasante)	**MR1**=38 MPa
S2 (2<CBR<5)	**T1** (1x10$^{6<}$EALS <1,5x10^6)	**D y No B** (Dovelas y No Bermas)	**BG** (15 cm BG)	**MR2**=40 MPa
S3 (5<CBR<10)	**T2** (1,5x10$^{6<}$EALS <5x10^6)	**No D y B** (No Dovelas y Bermas)	**BEC** (15 cm BEC)	**MR3**=42 MPa
S4 (10<CBR<20)	**T3** (5x10$^{6<}$EALS <9x10^6)	**No D y No B** (No Dovelas y No Bermas)		**MR4**=45 Mpa
S5 (CBR>20)	**T4** (9x10$^{6<}$EALS <17x10^6)			
	T5 (17x10$^{6<}$EALS <25x10^6)			
	T6 (25x10$^{6<}$EALS <100x10^6)			

Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto invias

En donde:

SI: "Clase de suelo con i variando desde 1 hasta 5"	**BG**: "Base granular"
TI: "Clase de tránsito con i variando desde 0 hasta 6	**BEC**: "Base estabilizada con cemento"
D: "Dovelas"	**CBR**: "Relación de soporte de California"
B: "Bermas"	**EALS**: Ejes equivalentes definidos con el procedimiento "Equivalent Axels Load System"
SN: "Suelo natural o subrasante"	

Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto invias

7.9 Datos de entrada para el diseño

Tránsito: según tabla 2 se toma T_o
Periodo de diseño 20 años
Crecimiento anual del tránsito se determina año por año hasta llegar a los 20 años
Subrasante CBR 4.85 %
Clasificación subrasante según tabla 3, se toma S2
La estructura de pavimento se soportará sobre una base granular según tabla 4
Módulo de resistencia del Concreto: 4000 psi o 280 kg/cm²
Módulo rotura del concreto según tabla 5 se toma MR3 = 42 kg/cm² (resistencia a flexión)
Vías de una dirección con dos carriles
Vía con sardineles de confinamiento
Placas o losas sin pasadores o dovelas para juntas transversales
Placas o losas sin barras de anclaje o amarre para juntas longitudinales

Independientemente de la presencia de base granular en la estructura, la subrasante debe estar libre de materia orgánica y en el proceso de compactación de ella, se debe hacer de tal manera que alcance el 95% del Proctor modificado

Tabla 8: Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T_0 como factor principal

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																				
Tránsito T0																				
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1			24	28	23	27	23	27	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2			23	27	22	26	22	26	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3			23	26	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			21	24	20	24	20	24	19	22	19	22	18	21	18	21	18	21	18	21
BG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR2			22	25	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR3			21	24	20	24	20	24	29	22	19	22	19	22	19	22	18	21	18	21
	MR4			20	23	19	23	19	23	28	21	18	21	18	21	18	21	17	20	18	20
BEC	MR1			20	23	19	22	19	22	18	21	18	21	18	20	18	20	17	20	17	20
	MR2			19	22	19	21	19	21	17	20	17	20	17	20	17	20	17	19	17	19
	MR3			18	21	18	21	18	21	17	19	17	19	16	19	17	19	16	19	17	19
	MR4			18	20	17	20	18	20	16	19	17	19	16	18	17	18	15	18	17	18

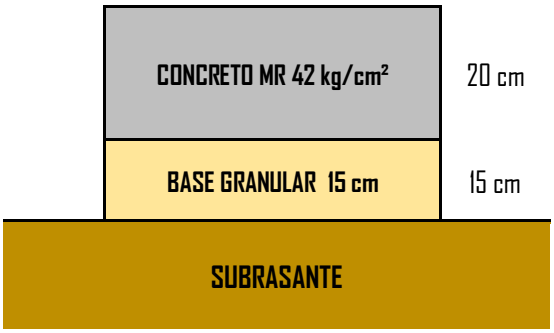
Tabla 4-1. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T0 como factor principal

Fuente: Manual de diseño de pavimentos en concreto invias

7.10 Esquema sugerido

Se sugiere una estructura en concreto ver ilustración 3

Ilustración 6: Esquema diseño sugerido



Fuente: Elaboración propia

7.10.1 Diseño estructura sugerido

Módulo de resistencia del Concreto a compresión: 4000 psi o 280 kg/cm²
Módulo rotura del concreto MR3 = 42 kg/cm²
Sin dovelas
Con confinamiento sardineles y andenes
Espesor concreto 20 cm
Plataforma Base granular tipo C espesor 15 cm

Losas cuadradas con el mismo ancho del carril
Juntas de construcción longitudinales y transversales
Sello en las juntas

7.11 Cortes y sellos de las juntas

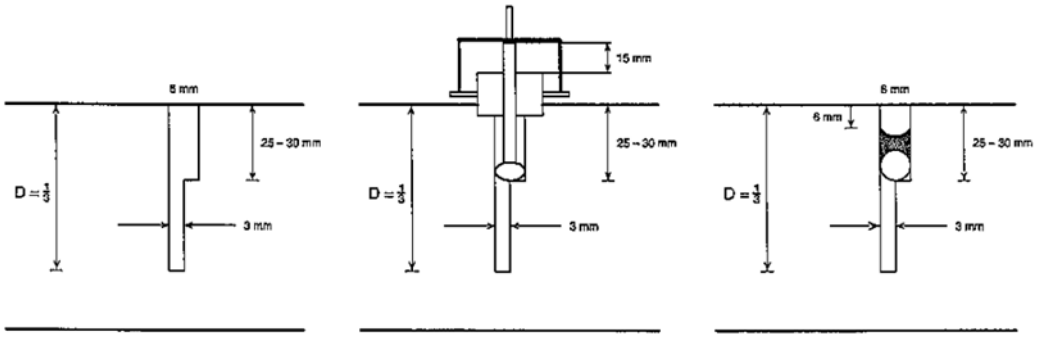
Las juntas longitudinales y transversales deben quedar bien alineadas, se debe realizar un corte a 1/3 del espesor de la placa con máquina de disco diamantado el momento en el que se debe realizar el corte se determina por las características del concreto y las condiciones atmosféricas

El corte inicial se realiza con un ancho de 3 mm para inducir la falla controlada, posteriormente, se realiza un ensanchamiento del corte para alojar el material de sello

El sello debe garantizar

- La hermeticidad del espacio sellado
- La adherencia del sello a las caras de la junta
- La resistencia a la fatiga por tracción y compresión
- La resistencia a la acción del agua
- Los solventes
- Los rayos ultravioletas
- La acción de la gravedad
- El calor

Ilustración 7: *Detalle juntas*



El espacio de las juntas a sellar debe estar seco y limpio se debe lavar, barrer y soplar se utiliza compresor, previamente al vaciado del compuesto llenante se coloca una tirilla de respaldo, se debe presionar dentro de la junta con colocador

adecuado, al colocar el sellante no se deben dejar sobrantes por encima de la superficie. La superficie del sello debe quedar 6 mm por debajo del borde de la junta. No debe colocarse arena, asfalto liquido u otro material no adecuado como sello de junta. El sellamiento de las juntas se debe realizar dentro de los primeros 5 días y se debe proteger temporalmente.

7.12 Resumen cantidades de obra

Longitud aproximada = m
Ancho promedio = m
Área = L * A = m²
Excavación altura = 0. 35 m
Volumen de excavación = m³
Altura base = 0.15 m
Volumen base granular = m³/compactos
Altura placa en concreto = 0.20 m
Volumen placa concreto MR 42 = m³/compactos

Nota:
Estas cantidades pueden variar de acuerdo algunas características que no se evidenciaron en el desarrollo del proyecto y que solo se evidencian en la ejecución

La correlación entre la resistencia del concreto y el módulo de rotura se estableció con la siguiente ecuación

$Y = 1.1756 * X^{0.6366}$ (ecuación exponencial)
Y = Módulo de Rotura del concreto = MR = 40 kg/cm²
x = Resistencia a la compresión del concreto

$$X = \left(\frac{Y}{1.1756}\right)^{1.57} = \left(\frac{40}{1.1756}\right)^{1.57} = \frac{254.0543584\ kg/cm^2 * 1PSI}{0.070307\ kg/cm^2} = 3613.50\ PSI\ \ se\ aprox\ a\ 4000\ psi$$

La ecuación de correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión recomendada en el ACI es de forma exponencial así:
$MR = K * \sqrt{F'c}$

CONCLUSIONES

El diseño se ha desarrollado con la finalidad de rehabilitar la calle 111 entre la avenida Mirolindo y la carrera 21 sur aparco de la comuna 9, calle de primer orden del casco urbano del municipio de Ibagué

Se contempló en un solo sector homogéneo en la vía a intervenir se evaluó partiendo de las características y propiedades geométricas propuestas para el corredor vial y su correspondiente análisis geológico teniendo en cuenta las variables de diseño geométrico, composición geológica (formaciones rocosas y superficiales), Tránsito y respuesta geotécnica de la subrasante medida a partir de CBR que en este sector arrojo un valor de 4.85%

El cálculo estructural del pavimento de la vía a rehabilitar se desarrolló con base en las recomendaciones dadas por el manual de diseño de pavimentos de concreto para vías de bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. (metodología invias)

La alternativa de diseño estructural del pavimento se realizó con la finalidad de mejorar la malla vial de la comuna 9 que en la actualidad presenta un mal estado

Los estudios geotécnicos y de suelos de la ciudad de Ibagué, la caracterizan litológicamente en el abanico de Ibagué (Qfv) donde se determina que en estas vías existentes predominan "CH" se refiere a suelos de arcilla inorgánica de alta plasticidad. Estos suelos son conocidos por su alta capacidad para deformarse y retener agua.

Se utilizará la base granular para prevenir el fenómeno del bombeo, sin embargo, su presencia tiene como consecuencia un incremento en la capacidad de soporte del pavimento que se puede aprovechar para efectos de diseño, porque disminuye el espesor de la losa.

El diseño recomendado es una placa en Concreto simple, sin barras o pasadores de transferencia y sin dovelas confinado por los lados con sardineles y andenes y soportado sobre una base granular de espesor 15 cm que nos ayuda a mejorar la de la subrasante

Las placas o losas en concreto deben tener una resistencia de 4000 psi, y un MR de 42 kg/cm² (resistencia a la flexión), medidos a los 28 días Se recomienda placas modulares rectangulares o cuadradas de un espesor de placa 200 mm, con un soporte de la estructura en base granular de espesor 150 mm.



Fuente: Elaboracion propia

Las estructuras de pavimento en concreto hidráulico se proyectaron a un periodo de diseño de (20 años)

Luego de excavar en las profundidades establecidas según la alternativa de intervención implementada, se recomienda mediante el paso de una volqueta sencilla cargada sobre el material de subrasante, identificar las zonas de baja consistencia, las cuales, en caso de ser puntuales o localizadas, deberán ser intervenidas según lo acordado en obra conjuntamente entre el Contratista y la Interventoría; menú caso de prestar zonas de consistencia baja generalizadas en el corredor vial, se deberá dar oportuno aviso al especialista para realizar las verificaciones e introducir los ajustes necesarios según sea el caso

Se recomienda que el material de subrasante sea perfilado una vez se alcance la cota de localización

Se debe evitar al máximo en la medida de lo posible que el material de subrasante quede expuesto a la acción de la lluvia, para lo cual se deberán realizar las excavaciones y conformaciones de material granular en el menor tiempo posible

En los sitios donde para la construcción de la estructura de pavimento existan ductos o redes de servicios, a profundidades inferiores al espesor total requerido para el pavimento, se deberá realizar una protección de los ductos usando un geotextil no tejido y luego fundiendo una placa de concreto de espesor y de módulo de rotura variable, dependiendo de cada situación en particular (tipo de ducto a proteger).

Se debe mantener permanente control en el proceso constructivo de las estructuras de pavimento, deberá verificarse que los equipos empleados cumplan con las Especificaciones Técnicas de Construcción definidas por el INVIAS, plasmadas en el documento Especificaciones Generales de Construcción 2022. Se debe tener un control estricto en la verificación de los espesores de las diferentes capas que conforman las estructuras de pavimento, ya que la conformación de capas con

menores espesores a los obtenidos en el diseño redundará en la reducción de la vida útil proyectada del pavimento.

De manera previa a la construcción de las estructuras de pavimento, se deberán construir sistemas que faciliten el drenaje y subdrenaje de las vías y su área circundante, para lo cual se deberán localizar conjuntamente con la Interventoría los puntos en los que se plantea la construcción de dichas obras de drenaje y subdrenaje, de acuerdo con lo indicado en el diseño hidráulico; con estas obras se busca lograr una adecuada captación y encauzamiento de las aguas superficiales y subsuperficiales, disminuyendo los tiempos de saturación y por ende de debilitamiento de la estructura, de manera tal que se garantice como mínimo el tiempo de vida útil proyectado para estas estructuras.

Se debe dejar un bombeo transversal mínimo del 2% y con la pendiente longitudinal se deberá garantizar que la escorrentía superficial pueda ser encausada efectivamente hacia los puntos de drenaje definidos en el diseño hidráulico.

La estructura de pavimento final debe tener una calidad tal que se garantice una superficie homogénea tanto en forma como en composición de materiales, y no deberá presentar fallos de ningún tipo; en caso de presentarse estos deberán corregirse previamente a la puesta en funcionamiento de la vía.

Se recomienda llevar un adecuado control de calidad de obra, de acuerdo con los ensayos mínimos exigidos en las Especificaciones Generales de Construcción del INVIAS. Para pavimentos de concreto

Se recomienda realizar mantenimientos periódicos (reposición material sello de juntas con una frecuencia de 5 a 7 años, reconstrucción del 5% de áreas construidas mediante reparaciones parciales y totales con frecuencia de 10 años, demolición y reconstrucción del 5% del área construida con frecuencia entre 15 a 20 años

Independientemente de la presencia de base granular en la estructura, la subrasante debe estar libre de materia orgánica y en el proceso de compactación de ella, se debe hacer de tal manera que alcance el 95% del Proctor modificado

Elaboró



Ing. José Hernan Ríos Riaño
Especialista en diseño y construcción de pavimentos